Journal of Agroecology
Vol. 11, No.3, Fall 2019, p. 1105-1121

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 11، شماره 3، پاییز 1398، ص 1121-1105

مطالعه پاسخ اکوفیزیولوژیک بالنگوی شهری (*Lallemantia iberica* L.) در شرایط دیم به کاربرد خارجی تنظیم‌کننده‌های اسمزی

دیبا شیخی سنندجی[1] و علیرضا پیرزاد[2*]

تاریخ دریافت: 1397/02/24
تاریخ پذیرش: 1397/05/21

پیرزاد، ع.، و شیخی سنندجی، د. 1398. مطالعه خصوصیات اکوفیزیولوژیک بالنگوی شهری (*Lallemantia iberica* L.) در شرایط دیم به کاربرد خارجی تنظیم‌کننده‌های اسمزی. بوم‌شناسی کشاورزی، 11 (3): 1121-1105.

چکیده:

با توجه به این که گیاهان در شرایط تنش ترکیبات اسمزی متفاوتی را سنتز می‌کنند، ممکن است که به کاربرد خارجی آن‌ها در برابر تنش پاسخ دهند. این آزمایش به منظور ارزیابی خصوصیات اکوفیزیولوژیک بالنگوی شهری (*Lallemantia iberica* L.) در شرایط دیم به کاربرد خارجی تنظیم‌کننده‌های اسمزی، در سال 1396-1395 در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه ارومیه به‌صورت کرت‌های خرد شده بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عدم آبیاری (دیم) و یک نوبت آبیاری تکمیلی به‌عنوان عامل اصلی و محلول‌پاشی اسمولیت‌ها شامل پرولین (0/2 گرم در لیتر)، گلایسین‌بتائین (0/2 گرم در لیتر)، ساکارز (100 گرم در لیتر) و آب‌مقطر (شاهد) به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. صفات مورد اندازه‌گیری بالنگوی شهری، شامل شاخص سبزینگی، کارتنوئید، پرولین، گلایسین‌بتائین، کل کربوهیدرات‌های محلول، آب نسبی برگ، ارتفاع بوته، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی، موسیلاژ، فسفر، پتاسیم، نیتروژن، درصد روغن و عملکرد روغن بودند. نتایج نشان داد که شاخص سبزینگی بالاتری در هر دو سطح دیم و آبیاری تکمیلی با کاربرد پرولین به‌دست آمد. کاربرد گلایسین‌بتائین میزان گلایسین‌بتائین و کربوهیدرات برگ را در هر دو سیستم کاشت کاهش داد. بیش‌ترین مقادیر عملکرد دانه (79/56 گرم در مترمربع در کشت دیم و 85/94 گرم در مترمربع در آبیاری تکمیلی) و عملکرد بیولوژیکی (250/25 گرم در مترمربع در کشت دیم و 492/65 گرم در مترمربع در آبیاری تکمیلی) مربوط به تیمار محلول‌پاشی ساکارز بود. هرچند محلول‌پاشی با پرولین و گلایسین‌بتائین هم عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه را نسبت به شاهد افزایش داد. پتاسیم برگی در تیمارهای محلول‌پاشی گیاهان آبیاری شده نسبت به شاهد کاهش نشان داد، ولی در کشت دیم این کاهش معنی‌دار نبود. با وجود تغییرات بسیار کم کارتنوئید برگی گیاهان دیم در پاسخ به تیمارهای محلول‌پاشی میزان آن در آبیاری تکمیلی با کاربرد پرولین و گلایسین‌بتائین کاهش زیادی نشان دادند. به‌طور کلی کاربرد خارجی اسمولیت‌ها (پرولین، گلایسین‌بتائین و ساکارز) و یا انجام یک نوبت آبیاری تکمیلی از کاهش عملکرد بالنگوی شهری در شرایط دیم به‌طور چشمگیری جلوگیری خواهد کرد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری تکمیلی، پرولین، روغن، گلایسین‌بتائین، موسیلاژ

مقدمه

گیاه دارویی بالنگوی شهری از جنس *Lallemantia* و گونه *iberica* از تیره Lamiaceae بوده که در مناطق آذربایجان و بیش‌تر مناطق ایران در بین کشاورزان به‌نام قره زرک شناخته می‌شود (Ghorbani, 2004). بذرهای بالنگوی شهری حاوی ترکیبات موسیلاژی می‌باشد. موسیلاژها به‌دلیل ویژگی‌های با ارزش از جمله پایدارکنندگی، سوسپانسیون‌کنندگی و امولسیون‌کنندگی، کاربردهای فراوانی در صنایع نساجی و داروسازی دارند (Nori-Shargh et al.,

---

1 و 2- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استاد (فیزیولوژی گیاهان زراعی) گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه
(*- نویسنده مسئول: Email: a.pirzad@urmia.ac.ir)
Doi: 10.22067/jag.v11i3.72715

2009) و در درمان بیماری‌های کبد، کلیه و اختلالات عصبی کاربرد دارند (Amanzadeh et al., 2011). بذر بالنگوی شهری حاوی بیش از 30 درصد روغن خشک (Strasil & Kas, 2005) حاوی اسیدهای چرب شامل 6/5 درصد پالمتیک، 1/8درصداستئاریک، 10/3 درصد اولئیک، 10/8 درصد لینولئیک و 68 درصد اسید لینولیک می‌باشد. روغن این گیاه با درصد بالای اسید لینولنیک در کاربردهای صنعتی و غذایی در رقابت با گیاهانی مانند کتان موفق‌تر عمل می‌کند (Sane & Pirzad, 2018; Zlatanov et al., 2012).

گیاه بالنگو در اکثر مناطق کشت دیم و آبی آذربایجان از گیاهان مهم تناوبی بهاره است که زمان گل‌دهی آن در خرداد و تیرماه می‌باشد. دلیل سازگاری این گیاه به خشکی ناشی از وجود ژن‌های تحمل به خشکی می‌باشد (Ghorbani, 2004). خشکی رشد گیاهان، توسعه و عملکرد آن‌ها را در سرتاسر جهان محدود می‌سازد. به‌طوری‌که در اثر خشکی میانگین تولید گیاهی بیش از 50 درصد کاهش می‌یابد (Pei et al., 2013).

از نظر زراعت، خشکی شرایطی است که مقدار و پراکنش آب به اندازه‌ای نیست که گیاه بتواند عملکرد بالقوه خود را تولید کند که این موضوع باعث آسیب به گیاه و محدودیت در بروز پتانسیل ژنتیکی عملکرد می‌شود (Blum, 2011). آبیاری تکمیلی مصرف مقدار محدودی آب در گیاه زراعی در زمان نبود بارندگی می‌باشد تا آب کافی برای رشد گیاه به‌منظور افزایش و ثبات عملکرد تأمین شود. این مقدار آب داده‌شده به‌تنهایی برای تولید گیاه زراعی کافی نیست. بنابراین، از ویژگی‌های ضروری سیستم آبیاری تکمیلی، استفاده از آب باران به‌همراه کاربرد آبیاری می‌باشد (Oweis & Hachum, 2004). در یک مطالعه، اعمال یک تا سه نوبت آبیاری افزایش تدریجی و معنی‌داری را در عملکرد بیولوژیکی (بیوماس بخش هوایی ماشک دیم) نشان داد. این افزایش در کلیه گیاهان آبیاری شده (یک تا سه نوبت) در مقایسه با کشت دیم قابل توجه بود (Jalilian & Heydarzadeh, 2016). در تحقیقی که بر روی بالنگوی شهری در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی انجام شد افزایش عملکرد بیولوژیکی تحت آبیاری تکمیلی گزارش گردید (Farzi et al., 2016). عملکرد و رشد گیاهان تحت تأثیر عوامل محیطی از جمله تنش کمبود آب می‌باشد که به‌علت روند غیرعادی فرآیندهای فیزیولوژیک در اثر تنش می‌باشد. واکنش گیاهان در مواجهه با تنش‌های محیطی متفاوت است.

یکی از رایج‌ترین این واکنش‌ها سنتز و تجمع ترکیب‌هایی با وزن مولکولی کم به‌نام حفاظت‌کننده‌های اسمزی می‌باشد. این ترکیبات، پتانسیل اسمزی درون سلول‌ها را کاهش می‌دهد و به حفظ تورژسانس سلولی کمک می‌کند. یون‌های غیرآلی، یون‌های آلی، کربوهیدرات‌های محلول شامل قندها، اسیدهای آمینه (پرولین) و ترکیب‌های آمونیوم چهارگانه نظیر گلایسین‌بتائین حفاظت‌کننده‌های اسمزی هستند که در شرایط تنش رطوبتی در سلول‌های گیاهی تجمع می‌یابند (Soltani-Gard et al., 2010). قندهای محلول به‌عنوان محافظت‌کننده‌های اسمزی در تنظیم اسمزی سلول نقش دارند و در پاسخ به تنش‌های محیطی تجمع می‌یابند که تعیین میزان قندهای محلول ممکن است روشی مفید در انتخاب گونه‌های مقاوم به خشکی باشد. پرولین باعث تنظیم اسمزی شده و هم‌چنین به‌عنوان محافظ در برابر تنش عمل می‌کند. پرولین به‌طور مستقیم و غیرمستقیم با ماکرو مولکول‌ها اثر متقابل دارند و این عامل باعث حفظ شکل و ساختار طبیعی آن‌ها در شرایط تنش می‌شود (Koc et al., 2010; Soltani-Gard et al., 2010).

گلایسین بتائین ساختار آنزیم و فعالیت آنزیم‌ها را پایدار ساخته و سبب نگهداری خاصیت غشاء سلولی در برابر اثرات تنش می‌گردد (Arazmjo et al., 2010). کورکماز و همکاران (Korkmaz et al., 2012) گزارش کردند مصرف گلایسین‌بتائین غلظت کلروفیل را در گیاه فلفل تحت شرایط تنش در مقایسه با شاهد افزایش داد. مارتیگنون و ناکامایا (Martignone & Nakamaya, 1983) گزارش کردند محلول‌پاشی ساکارز بر روی سویا باعث ذخیره انرژی سلولی شده و کربوهیدرات لازم برای تشکیل میوه را فراهم می‌کند. محلول‌پاشی پرولین در شرایط خشکی به‌طور قابل توجهی درصد و عملکرد اسانس را در گیاه بابونه (*Matricaria chamomilla* L.) افزایش داد (Gamal EL-Din & Abd El-Wahed, 2005). در مطالعه‌ای بر روی رشد، عملکرد و برخی از فعالیت‌های متابولیک در گیاه ازمک (*Lepidium sativum* L.) تحت فواصل مختلف آبیاری و محلول‌پاشی با پرولین در افزایش تحمل به خشکی گزارش گردید که محلول‌پاشی پرولین باعث بهبود مقاومت گیاهان تحت سطوح کم‌آبی می‌شود (Khalil & El-Noemani, 2012). ارزیابی کاربرد تنظیم‌کننده‌های اسمزی مانند ساکارز، پرولین و گلایسین‌بتائین به‌منظور جبران کاهش عملکرد، تحمل به خشکی گیاه بالنگوی شهری و معرفی این گیاه به‌عنوان یک گیاه مناسب و پربازده و

جایگزینی محصولات رایج در این مناطق تحت شرایط دیم و آبیاری تکمیلی، از اهداف اصلی تحقیق حاضر بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سال 96-1395 در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه ارومیه با طول جغرافیایی 45 درجه و 10 دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی 37 درجه و 44 دقیقه شمالی و ارتفاع 1338 متر از سطح دریا اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل کشت عدم آبیاری و یک نوبت آبیاری تکمیلی به‌عنوان عامل اصلی و چهار سطح محلول‌پاشی (آب‌مقطر به‌عنوان شاهد، ساکارز 100 گرم در لیتر، پرولین 0/2 گرم در لیتر و گلایسین‌بتائین 0/2 گرم در لیتر تهیه شده از Merck) به‌عنوان عامل فرعی بودند. زمان یک نوبت آبیاری تکمیلی، حدود 60 درصد ظرفیت زراعی و مقدار آب آبیاری، رساندن رطوبت خاک به ظرفیت زراعی بود (Ghasemian et al., 2017). غلظت محلول‌پاشی ساکارز (Mashayekhi & Atashi, 2012)، پرولین و گلایسین‌بتائین (Norouzi Baroogh, 2009) بر اساس نتایج تحقیقات قبلی انتخاب شدند. قبل از کاشت و تهیه بستر از پنج نقطه محل آزمایش از عمق 30-0 سانتی‌متری نمونه برداری و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک تعیین گردید (جدول 1).

جدول 1- برخی خصوصیات خاک محل آزمایش

Table 1-The soil characteristics of experiment site

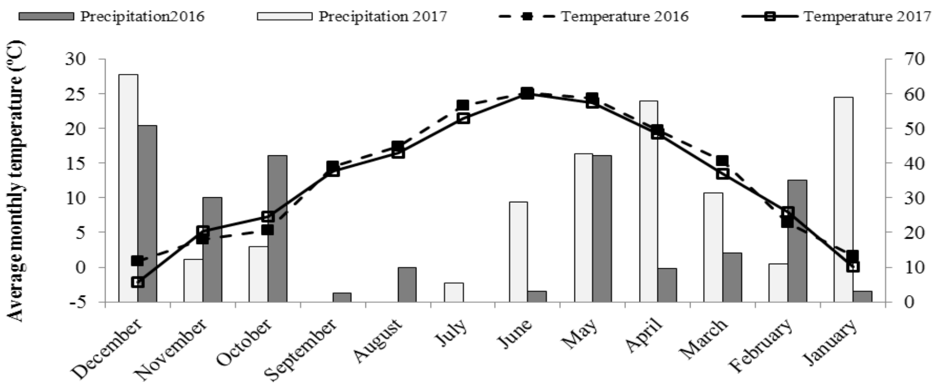
مشخصات Specifications	نتیجه Result
عمق Depth (cm)	0-30
اسیدیته pH	7.3
هدایت الکتریکی EC (dS.m^{-1})	1.42
بافت Texture	رسی-لومی Clay-loam
شن Sand (%)	21
سیلیت Silt (%)	37
رس Clay (%)	42
نیتروژن Nitrogen (%)	0.012
فسفر Phosphorus (mg.kg^{-1})	9.2
پتاسیم Potassium (mg.kg^{-1})	435

به‌استناد آمار 40 ساله میانگین بارندگی سالیانه این منطقه 335 میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه 11 درجه بوده است. منطقه نازلو واقع در 11 کیلومتری شمال غرب ارومیه با داشتن زمستان‌های سرد و مرطوب و تابستان‌های گرم و خشک جزو رژیم رطوبتی نیمه‌خشک محسوب (روش تعیین اقلیم دومارتن) می‌شود. دما و بارندگی ماهیانه دو سال منتهی به اجرای آزمایش (شکل 1) ارایه شده است.

پس از یک شخم پاییزه در آذرماه سال 1395، تسطیح زمین و کشت به‌صورت ردیفی انجام گرفت که فاصله بین ردیف‌ها 15 سانتی‌متر بود. بذرها از توده‌ها بومی کشت شده در سال‌های گذشته انتخاب شد. هر کرت شامل هشت ردیف کاشت به‌طول 200 سانتی‌متر بود. پس از سبز شدن و استقرار بوته‌ها، در مرحله پنج‌برگی گیاهان تا ایجاد تراکم 60 بوته (Koocheki et al., 2014; Sane & Pirzad, 2018) در هر متر طولی تنک شدند. در طول دوره رشد عملیات وجین به‌صورت دستی به‌منظور جلوگیری از رقابت علف‌های هرز با بالنگوی شهری انجام شد. اولین محلول‌پاشی در 28 اردیبهشت 1396 و مرحله دوم به فاصله دو هفته پس از آن انجام شد که هر دو مرحله محلول‌پاشی توسط سم‌پاش پشتی کتابی با نازل نوع سیلابی در زمان غروب آفتاب و به‌طور یکنواخت برای هر کرت بود. در 21 خرداد ماه تیمار آبیاری تکمیلی به‌صورت غرقاب انجام شد. نمونه‌برداری برای اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیکی (پرولین، گلایسین بتائین، کربوهیدرات‌های محلول در آب و عناصر غذایی برگ) در زمان 80 درصد گل‌دهی در تاریخ 29 خرداد صورت گرفت. نمونه‌ها بعد از توزین با دقت یک‌هزارم گرم داخل فویل پیچیده شده و تا زمان انجام آزمایش‌ها در دمای 80- درجه نگه‌داری شد. برداشت نهایی، در زمان رسیدگی بذر، برای به‌دست آوردن عملکرد دانه در دو تاریخ هفتم تیر ماه برای کشت عدم آبیاری و اول مرداد سال 1396 برای آبیاری تکمیلی انجام شد.

برای اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیکی شامل محتوی نسبی آب برگ (RWC)[1]، شاخص سبزینگی (SPAD)، پرولین، کربوهیدرات‌های محلول، گلایسین‌بتائین و عناصر غذایی (نیتروژن، فسفر و پتاسیم)، نمونه‌های برگی در 170 روز پس از کاشت تهیه شدند.

1- RWC: Relative water content



شکل 1- دما و بارش سالیانه در سال زراعی 95-96 در شهرستان ارومیه

Fig. 1- Monthly temperature and precipitation during growing season of 2016-2017 at Urmia city

تعیین عملکرد دانه، استخراج موسیلاژ، استخراج روغن و اندازه‌گیری اجزای عملکرد دانه در انتهای فصل رشد (210 روز پس از کاشت دیم و 228 روز پس از کاشت برای تیمار آبیاری تکمیلی) پس از کاشت انجام گرفت.

برای اندازه‌گیری محتوی نسبی آب برگ، دیسک‌هایی به اندازه یکسان تهیه شدند و وزن تر برگ بلافاصله بعد از نمونه‌برداری (Fw)، وزن اشباع برگ بعد از قرار گرفتن در آب مقطر (Sw) و وزن خشک برگ بعد از قرار گرفتن در آون 70 درجه سانتی‌گراد (Dw) اندازه‌گیری شدند. آب نسبی برگ با استفاده از معادله 1 محاسبه شد (Ritchie & Nguyen, 1990).

معادله (1) RWC (%)= [(Fw-Dw)/(Sw-Dw)]× 100

برای اندازه‌گیری میزان تنظیم‌کننده‌های اسمزی، 0/5 گرم از بافت تازه برگی به‌همراه پنج میلی‌لیتر اتانول 95٪ در داخل هاون چینی کوبیده شد. قسمت بالایی محلول حاصله جدا گشته و رسوبات آن دو بار با پنج میلی‌لیتر اتانول 70٪ شستشو شده و فاز بالایی آن به قسمت رویی قبل اضافه شد. محلول به‌دست آمده به‌مدت ده دقیقه با 35000 دور سانتریفوژ گردید و تا زمان اندازه‌گیری پرولین و کربوهیدرات‌های محلول در یخچال نگه داری شد (Iririgoyen et al., 1992).

برای اندازه‌گیری غلظت پرولین، یک میلی‌لیتر از عصاره الکلی تهیه شده را با 10 میلی‌لیتر آب مقطر رقیق نموده و پنج میلی‌لیتر معرف نین هیدرین به آن اضافه شد. پس از افزودن معرف نین هیدرین، پنج میلی‌لیتر اسید استیک گلایسیال به آن افزوده شد و مخلوط حاصله پس از به هم خوردن به‌مدت 45 دقیقه در حمام آب جوش (100 درجه سانتی‌گراد) قرار داده شد. سپس 10 میلی‌لیتر بنزن به هر کدام از نمونه‌ها افزوده شد. استانداردهایی از پرولین تهیه و در نهایت میزان جذب نمونه‌ها در طول موج 515 نانومتر با اسپکتروفتومتر مدل PD-303 (ساخت ژاپن) اندازه‌گیری شدند (Paquin & Lechasseur, 1997).

برای اندازه‌گیری میزان کربوهیدرات‌های محلول، 0/1 میلی‌لیتر از عصاره الکلی نگه‌داری شده داخل لوله آزمایش ریخته شده و سه میلی‌لیتر آنترون تازه تهیه شده به آن افزوده شد. لوله‌های آزمایش به‌مدت 10 دقیقه در حمام آب‌جوش قرار داده پس از خنک شدن نمونه‌ها جذب آن‌ها در طول موج 625 نانومتر با اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد (Iririgoyen et al., 1992).

برای اندازه‌گیری گلایسین بتائین، 0/5 گرم از برگ‌های خشک و آسیاب شده گیاه با 20 میلی‌لیتر آب دو بار تقطیر مخلوط شد. محلول به‌مدت 48 ساعت در دمای 25 درجه سانتی‌گراد نگه‌داری شد. در مرحله بعد نمونه‌ها را از کاغذ صافی عبور داده شدند. نیم میلی‌لیتر از محلول رقیق شده با اسید سولفوریک دو نرمال در لوله‌های آزمایش به‌مدت یک ساعت در آب یخ قرار داده شدند و 0/2 میلی‌لیتر معرف یدید- یدین پتاسیم خنک اضافه شد. محلول‌ها به‌مدت 16 ساعت در چهار درجه سانتی‌گراد قرارگرفتند و در 10000 دور برای 15 دقیقه و در دمای صفر درجه سانتی‌گراد

سانتریفوژ شدند. سپس فاز بالایی محلول را با میکرو پیپت جدا شده و مقدار نه میلی‌لیتر 1-2-دی کلرواتان به آن اضافه گردید و بعد از دو ساعت در طول موج 365 نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد (Grieve & Grattan, 1983).

برای اندازه‌گیری موسیلاژ، یک گرم بذر خشک را در 10 میلی‌لیتر اسید کلریدریک 0/1 نرمال جوشانده محلول موسیلاژ اولیه به‌دست می‌آید. سپس بذرهای باقی مانده در ظرف اول دو بار و هر بار با پنج میلی لیتر آب جوش شسته و به محلول موسیلاژ اولیه اضافه شد. شصت میلی‌لیتر الکل اتیلیک 96٪ به محلول موسیلاژ به‌دست آمده اضافه و به‌مدت پنج ساعت در یخچال نگهداری شد. رسوب حاصل پس از صاف کردن در آون 50 درجه به‌مدت 12 ساعت قرارگرفته و توزین ماده جدا شده (موسیلاژ) با دقت 0/001 گرم انجام شد (Kalyanasundaram et al., 1982). برای تعیین درصد روغن بذور از روش سوکسوله استفاده گردید. نمونه‌ها به‌مدت شش ساعت و با حلال ان-هگزان در داخل سوکسله قرار گرفتند. عملکرد روغن از حاصلضرب عملکرد دانه و درصد روغن دانه به‌دست آمد.

درصد پروتئین برگ، توسط دستگاه کجدال مدل Vapodest 20 ساخت آلمان اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری عناصر پتاسیم و فسفر، ابتدا عصاره به‌روش هضم با اسید کلریدریک تهیه شد. غلظت فسفر با کمک دستگاه اسپکتروفتومتر و در طول موج 470 نانومتر اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری پتاسیم موجود در عصاره تهیه شده، به‌روش نشر شعله‌ای و با کمک دستگاه فلیم فتومتر انجام گرفت (Chapman & Pratt, 1961).

در پایان دوره رشد، با حذف اثر حاشیه‌ای، یک مترمربع از هر کرت، اندام هوایی به‌منظور به‌دست آوردن عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه در تاریخ‌های هفتم تیر (عدم آبیاری) و یکم مرداد (آبیاری تکمیلی) برداشت شدند. برای اندازه‌گیری اجزای عملکرد از بوته‌های برداشت شده از هر کرت به‌صورت تصادفی ده بوته انتخاب شد و صفات ارتفاع بوته (سانتی‌متر)، تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه داخل کپسول اندازه‌گیری شدند.

داده‌های به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.1 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

جدول2- تجزیه واریانس تأثیر محلول‌پاشی بر صفات فیزیولوژیک بالنگوی شهری تحت شرایط دیم و آبیاری تکمیلی

Table 2- Analysis of variance for effect of foliar spray on physiological charachteristics of *Lallemantia* in rainfed and supplemental irrigation conditions

منابع تغییر Source of variations	درجه آزادی df	شاخص سبزینگی SPAD	کارتنوئید Carotenoids	پرولین Proline	گلایسین بتائین Glycine betaine	کل کربوهیدرات‌های محلول Total soluble carbohydrate	آب نسبی برگ RWC
			میانگین مربعات Mean of squers				
بلوک Block	2	1.9^ns	0.00014^ns	0.0000002^ns	0.056^ns	1.3^ns	71.6^ns
آبیاری Irrigation	1	162.7**	0.0006^ns	0.0021**	4.85**	274.6**	723.9**
تکرار (آبیاری) Block(Irrigation)	2	5.1	0.00003	0.00003	0.062	2.7	142.8
محلول‌پاشی Foliar	3	111.3**	0.007**	0.0032**	2.6**	226.3**	99.1^ns
آبیاری×محلول‌پاشی Foliar×Irrigation	3	63.5**	0.014**	0.000096**	0.75**	85.2**	102.9^ns
اشتباه آزمایشی Error	12	7.5	0.00013	0.000008	0.4	3.2	53.7
ضریب تغییرات Coefficient of variation (%)		8.6	13.3	3.5	7.6	7.9	13.7

ns: غیرمعنی‌دار، * و **: به‌ترتیب معنی‌دار سطح احتمال 5 و 1 درصد می‌باشند.

ns: non-significant, *: significant at $P≤0.05$, **: significant at $P≤0.01$, respectively.

ادامه جدول2- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر محلول‌پاشی بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه و موسیلاژ بالنگوی شهری تحت شرایط دیم و آبیاری تکمیلی

Continued Table 2- Analysis of variance (mean of squares) for effect of foliar spray on the seed yiled and yield components, and mucilage of *Lallemantia* in rainfed and supplemental irrigation conditions

منابع تغییر Source of Variation	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	تعداد کپسول در بوته Capsule number per plant	تعداد دانه در کپسول Seed number per capsule	وزن هزار دانه 1000-seed weight	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیکی Biological yield	موسیلاژ Mucilage
بلوک Block	2	0.66^ns	0.07^ns	94.8*	0.0006^ns	13.832^ns	25.240^ns	0.18^ns
آبیاری Irrigation	1	10.1**	481.5**	1135.7**	0.00003^ns	**814.136	5489.573**	0.27^ns
تکرار (آبیاری) (Irrigation) lockذ	2	0.72	0.2004	83.0	0.002	4.439	20.387	0.98
محلول‌پاشی Foliar	3	70.9**	135.7**	1485**	0.003^ns	9777.633**	5660.005**	1.1^ns
آبیاری× محلول‌پاشی Foliar×Irrigation	3	1.4^ns	38.3**	**8.7	0.002^ns	26.032*	304.593*	1.91^ns
اشتباه آزمایشی Error	12	0.03	0.14	23.4	0.001	6.501	71.660	3.01
ضریب تغییرات Coefficient of variation (%)		1.4	0.94	4.1	0.03	3.7	3.8	30.3

ns: غیرمعنی‌دار، * و **: به‌ترتیب معنی‌دار سطح احتمال 5 و 1 درصد می‌باشند.

ns: non-significant, *: significant at $P\leq 0.05$, **: significant at $P\leq 0.01$, respectively.

ادامه جدول2- تجزیه واریانس تأثیر محلول‌پاشی بر عناصر برگی و روغن دانه (درصد و عملکرد) بالنگوی شهری تحت شرایط دیم و آبیاری تکمیلی

Continued Table 2- Analysis of variance for effect of foliar spray on leaf nutrients and seed oil (percentage and yield) of *Lallemantia* in rainfed and supplemental irrigation conditions

منابع تغییر Source of Variation	درجه آزادی df	فسفر برگ Leaf phosphorus	پتاسیم برگ Leafe potassium	نیتروژن برگ Leafe nitrogen	درصد روغن Oil	عملکرد روغن Oil yield
بلوک Block	2	0.016^ns	0.24^ns	0.35^ns	0.33^ns	0.0081^ns
آبیاری Irrigation	1	32.9**	21.3**	13.6^ns	21.4**	0.0061^ns
تکرار (آبیاری) Block (irrigation)	2	0.0052	0.81	0.049	21.4	0.0061
محلول‌پاشی Foliar	3	8.2**	0.23*	11.2^ns	9.1^ns	0.023**
آبیاری × محلول‌پاشی Foliar×Irrigation	3	6.9**	7.9*	8.1^ns	8.9^ns	0.0041^ns
اشتباه آزمایشی Error	12	0.21	0.60	0.71	1.6	0.0018
ضریب تغییرات Coefficient of Variation (%)		6.9	11.4	5.8	5.4	5.7

ns: غیرمعنی‌دار، * و **: به‌ترتیب معنی‌دار سطح احتمال 5 و 1 درصد می‌باشند.

ns: non-significant, *: significant at $P\leq 0.05$, **: significant at $P\leq 0.01$, respectively.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های آزمایش نشان داد که اثرات متقابل بین آبیاری تکمیلی و محلول‌پاشی بر شاخص سبزینگی، کارتنوئید، پرولین، گلایسین‌بتائین، کل کربوهیدرات‌های محلول، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول در سطح احتمال 1% و بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، فسفر و پتاسیم برگ در سطح احتمال 5٪ معنی‌دار شد (جدول 2).

جدول3- مقایسه میانگین‌های صفات بالنگوی شهری تحت تأثیر اثرات اصلی محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های اسمزی و آبیاری

Table 3- Means comparison of mean *Lallemantia* traits under the influence of independent effects of foliar spray of osmotic adjustments, and irrigation

تیمار Treatment	آب نسبی برگ RWC (%)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	درصد روغن Oil (%)	عملکرد روغن Oil yield ($g.m^{-2}$)
آبیاری تکمیلی Supplemental irrigation	48.0 [a]	35.3 [a]	22.9 [b]	-
دیم Rainfed	58.9 [b]	34.1 [b]	24.7 [a]	-
محلول‌پاشی Foliar				
آب مقطر Distilled water		33.1 [b]	-	0. 66 [b]
ساکارز Sucrose		36.3 [a]	-	0. 79 [a]
پرولین Proline		32.9 [b]	-	0. 74 [a]
گلایسین بتائین Glycine betaine		36.5 [a]	-	0. 78 [a]

*حروف مشابه در هر ستون بیانگر تفاوت غیرمعنی‌دار در سطح احتمال 5 درصد با آزمون دانکن می‌باشد.

*The same letters in each column show non-significant differences based on Duncan's Multiple Range test ($P \leq 0.05$).

شاخص سبزینگی

در رابطه با شاخص سبزینگی بیش‌ترین مقدار آن مربوط به محلول‌پاشی پرولین تحت تیمار آبیاری تکمیلی (41/2) بود و کم‌ترین مقدار آن مربوط به تیمار ساکارز تحت تیمار دیم (23/1) بود. با اینکه شاخص سبزینگی در کشت دیم کم‌تر از آبیاری تکمیلی بود، امّا کاربرد محلول‌پاشی با پرولین در هر دو سیستم کاشت دارای بیش‌ترین تأثیر بر شاخص سبزینگی بود. کاهش محتوی کلروفیل در شرایط تنش خشکی به دلیل کاهش عامل‌های لازم برای ساخت کلروفیل و تخریب ساختمان آن است که دلیل آن می‌تواند پیری زودرس برگ‌ها در اثر اختلال هورمونی ناشی از تنش خشکی باشد (Kadkhodaee & Ehsanzadeh, 2011). محلول‌پاشی با ساکارز و گلایسین‌بتائین شاخص سبزینگی را در هر دو سیستم دیم و آبیاری تکمیلی نسبت به شاهد (آب‌پاشی) افزایش ندادند (جدول 4). افزایش تولید پرولین تحت شرایط تنش موجب می‌شود تا گلوتامات که پیش‌ماده ساخت پرولین و کلروفیل است کم‌تر در مسیر بیوسنتز کلروفیل شرکت داشته باشد و بیش‌تر به ساخت پرولین اختصاص یابد (Tewari & Singh, 1991). در این آزمایش به‌دلیل افزایش پرولین خارجی به بافت برگ گلوتامات کم‌تری صرف ساخت پرولین شده و کلروفیل بیش‌تر تولید می‌شود به همین دلیل افزایش میزان کلرفیل در تیمار پرولین قابل توجیه است. هم‌چنین در شاهد گیاهان آبیاری شده بیش‌ترین میزان کارتنوئید برگی (0/13 میلی‌گرم بر گرم) مشاهده شد که با تیمار محلول‌پاشی با ساکارز تفاوتی نداشت. البته محلول‌پاشی پرولین کارتنوئید برگی را در بالنگو به‌شدت کاهش داد. این مقدار حتی در محلول‌پاشی گلایسین‌بتائین به حداقل (0/04 میلی‌گرم بر گرم) رسید. در کشت دیم بالنگو کارتنوئید برگی کم‌تر از گیاهان آبیاری شده بود و هیچ‌یک از تیمارهای محلول‌پاشی باعث افزایش چشمگیری در میزان آن نشدند (جدول 4). در یک بررسی بر روی بابونه مشاهده گردید که با افزایش میزان کمبود آب از میزان کلروفیل کاسته شده و بر میزان کارتنوئید افزوده می‌گردد (Arazmjo et al., 2010). کلروفیل نسبت به اکسیداسیون و بازدارندگی نوری حساس بوده و درحالی‌که نقش کارتنوئیدها به‌عنوان آنتی‌اکسیدانت و حفاظت‌کننده از کلروفیل است به همین دلیل انتظار می‌رود کاهش میزان کارتنوئید در محلول‌پاشی پرولین به‌علت افزایش میزان کلروفیل در همان تیمار باشد.

جدول ٤- مقایسه میانگین‌های صفات بالنگوی شهری تحت تأثیر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های اسمزی در دو سیستم کاشت دیم و آبیاری تکمیلی

Table 4- Means comparison of *Lallemantia* traits affected by foliar spray of osmotic adjustments in two rainfed and supplemental irrigation systems

آبیاری Irrigation	محلول‌پاشی Foliar spray	شاخص سبزینگی SPAD	کارتنوئید Carotenoids (mg.g $^{-1}$)	پرولین Proline (mg.g $^{-1}$)	گلایسین بتائین Glycine betaine (mg.g $^{-1}$)	کربوهیدرات‌های محلول Soluble carbohydrates (mg.g $^{-1}$)	تعداد کپسول در بوته Capsule No/plant	تعداد دانه در کپسول Seed No/ capsule	عملکرد دانه Seed yield (g.m $^{-2}$)	عملکرد بیولوژیک biological yield (g.m $^{-2}$)	فسفر برگ Phosphorus (mg.g $^{-1}$)	پتاسیم برگ Potassium (mg.g $^{-1}$)
آبیاری تکمیلی Supplemental irrigation	آب مقطر Distilled water	36.1 ^{b*}	0.13 ^{a}	0.10 ^{b}	2.1 ^{c}	18.5 ^{ef}	41.1 ^{e}	125.0 ^{b}	60.58 ^{e}	207.27 ^{de}	8.4 ^{b}	7.4 ^{ab}
	ساکارز Sucrose	32.1 ^{bc}	0.12 ^{a}	0.07 ^{d}	1.9 ^{c}	15.7 ^{f}	48.1 ^{a}	136.8 ^{a}	85.94 ^{a}	264.95 ^{a}	8.2 ^{b}	4.9 ^{d}
	پرولین Proline	41.2 ^{a}	0.06 ^{d}	0.04 ^{f}	2.1 ^{c}	22.0 ^{cd}	45.3 ^{c}	118.5 ^{bc}	74.73 ^{c}	232.75 ^{c}	9.4 ^{a}	5.2 ^{d}
	گلایسین بتایین Glycine betaine	27.2 ^{cd}	0.04 ^{e}	0.07 ^{d}	1.0 ^{d}	20.5 ^{cde}	46.0 ^{b}	117.5 ^{bc}	79.33 ^{b}	239.15 ^{bc}	5.0 ^{de}	5.6 ^{cd}
دیم Rainfed	آب مقطر Distilled water	27.07 ^{cd}	0.074 ^{cd}	0.13 ^{a}	4.0 ^{a}	35.0 ^{a}	26.2 ^{g}	75.0 ^{d}	44.05 ^{f}	159.46 ^{f}	6.9 ^{c}	7.6 ^{ab}
	ساکارز Sucrose	23.1 ^{d}	0.075 ^{cd}	0.09 ^{c}	3.0 ^{b}	23.5 ^{bc}	38.2 ^{f}	139.7 ^{a}	79.56 ^{b}	250.52 ^{ab}	5.6 ^{d}	6.9 ^{bc}
	پرولین Proline	34.3 ^{b}	0.08 ^{bc}	0.06 ^{e}	2.1 ^{c}	26.6 ^{b}	42.7 ^{d}	113.5 ^{c}	62.41 ^{e}	198.43 ^{e}	4.3 ^{e}	8.6 ^{a}
	گلایسین بتایین Glycine betaine	32.1 ^{bc}	0.09 ^{b}	0.09 ^{c}	2.0 ^{c}	18.8 ^{def}	37.6 ^{f}	114.5 ^{c}	67.95 ^{d}	214.71 ^{d}	4.9 ^{de}	7.5 ^{ab}

*حروف مشابه در هر ستون بیانگر تفاوت غیر معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن می‌باشد.

*The same letters in each column show non-significant differences based on Duncan's Multiple Range test ($P \leq 0.05$).

پرولین برگی

در رابطه با صفت پرولین برگی میزان پرولین برگی بالنگو در شاهد (بدون کاربرد تنظیم‌کننده‌های اسمزی) در شرایط آبیاری تکمیلی کم‌تر از کشت دیم بود. با این حال، در هر دو سیستم دیم و آبیاری تکمیلی، کاربرد خارجی تنظیم‌کننده‌های اسمزی باعث کاهش معنی‌دار پرولین برگ شد که این کاهش در گیاهان آبیاری شده بیش‌تر بود. محلول‌پاشی ساکارز و گلایسین‌بتائین هر دو به یک اندازه تولید پرولین برگی بالنگو را کاهش دادند. ولی محلول‌پاشی پرولین باعث بیش‌ترین کاهش پرولین برگ در بالنگو شد. به طوری که میزان آن در کشت دیم (0/06 میلی‌گرم بر گرم) و آبیاری تکمیلی (0/04 میلی‌گرم بر گرم) به حداقل رسید (جدول 4). حبیبی و همکاران (Habibi et al., 2010) اظهار داشتند که افزایش پرولین در طی تنش خشکی ممکن است به‌خاطر تجزیه پروتئین‌ها باشد. فاروق و همکاران (Farooq et al., 2009) گزارش کردند که در شرایط تنش کم‌آبی و در نتیجه تجمع مواد محلول پتانسیل اسمزی سلول کاهش می‌یابد که در این حالت آب به درون سلول جذب و به حفظ حالت تورگر کمک می‌کند. با تدبیر تعدیل اسمزی فعالیت‌های سیتوپلاسمی و اندامک‌ها به گیاه کمک می‌کند تا به‌صورت کارآمدتری بتواند دوره رشد و فتوسنتز را تا پر شدن دانه به انجام برساند. افزایش غلظت و محتوی پرولین تحت شرایط تنش کم‌آبی ممکن است نشان‌دهنده نقش احتمالی این اسید آمینه در تنظیم اسمزی باشد. تاواری و سینگ (Tewari & Singh, 1991) بیان کردند که افزایش پرولین و کربوهیدرات‌های محلول تحت تنش ممکن است به‌علت شکستن پروتئین‌های غنی از پرولین یا به‌واسطه سنتز مجدد پرولین باشد. در پژوهش حاضر در اثر کاربرد خارجی پرولین و گلایسین‌بتائین تولید ترکیبات اسمزی داخل بافت گیاه را کاهش داده است. با توجه به این‌که پرولین در بافت‌های گیاه در معرض تنش تجمع پیدا می‌کند، محلول‌پاشی این ترکیب، باعث تعدیل میزان پرولین در برگ شده و مقدار تولید این ماده در برگ به نفع سنتز کلروفیل (جدول 4) کاهش پیدا می‌کند. به عبارت دیگر گلوتامات بیش‌تر در مسیر سنتز کلروفیل حرکت می‌کند و به تولید پرولین اختصاص نمی‌یابد.

گلایسین‌بتائین

بیش‌ترین مقدار گلایسین‌بتائین در بافت برگی (4/0 میلی‌گرم بر گرم) متعلق به گیاهان شاهد در کشت دیم بود که این میزان با یک نوبت آبیاری به نصف کاهش یافت. کاهش زیاد این تنظیم‌کننده اسمزی در آبیاری تکمیلی نشان می‌دهد که بالنگوی شهری از گیاهانی است که گلایسین بتائین در تنظیم اسمزی آن در شرایط خشکی نقش مؤثری دارد. هم‌چنین محلول‌پاشی با تنظیم‌کننده‌های اسمزی نیز تولید گلایسین‌بتائین برگ را کاهش داد و بیش‌ترین کاهش مربوط به کاربرد گلایسین‌بتائین خارجی بود (جدول 4). گلایسین‌بتائین در بسیاری از گونه‌های گیاهی به میزان بالا در پاسخ به انواع تنش‌های محیطی سنتز می‌شود. به‌طور خاص بیش‌تر هالوفیت‌ها زمانی‌که در معرض تنش قرار می‌گیرند، گلایسین‌بتائین را به‌عنوان یک تعدیل‌کننده اسمزی در سلول‌های خود افزایش می‌دهند (Makela et al., 1996). با توجه به این که همه گیاهان گلایسین‌بتائین را به میزان کافی برای دفع اثرات سوء تنش‌های غیرزنده تولید نمی‌کنند، رهیافتی که برای افزایش غلظت این ترکیب در گیاهان برای افزایش تحمل به تنش در نظر گرفته شده است کاربرد خارجی این تعدیل‌کننده‌ها نظیر گلایسین‌بتائین در گیاهان تحت تنش به‌منظور افزایش تحمل آن‌ها می‌باشد (Ashraf & Foolad, 2007).

با اعمال تنش خشکی در کشت دیم میزان کل کربوهیدرات‌های محلول به‌شدت افزایش یافت. به عبارت دیگر، میزان کل کربوهیدرات‌های محلول در کشت دیم 90 درصد بیش‌تر از گیاهان آبیاری شده بود. البته کاربرد تنظیم‌کننده‌های اسمزی در کشت دیم باعث کاهش معنی‌دار کربوهیدرات‌های محلول شد ولی این کاهش در آبیاری تکمیلی فقط در تیمار ساکارز مشاهده شد. درحالی‌که کاربرد گلایسین‌بتائین بر میزان کربوهیدرات‌های محلول در گیاهان آبیاری شده تأثیر معنی‌داری نداشت، محلول‌پاشی پرولین میزان آن را افزایش داد. محلول‌پاشی ساکارز میزان کربوهیدرات را در آبیاری تکمیلی به حداقل میزان خود رساند (جدول 4). در مجموع افزایش قندهای محلول در زمان تنش را می‌توان به‌علت توقف رشد یا سنتز این ترکیبات از مسیرهای غیر فتوسنتزی و هم‌چنین تخریب قندهای نامحلول که باعث افزایش قندهای محلول می‌شود، بیان کرد (Ghorbani, 2004). به‌دلیل مصرف قندها در سنتز متابولیت‌هایی چون پرولین در اندام هوایی شاید بتوان این‌گونه بیان کرد که با مصرف خارجی پرولین گیاه نیازی به مصرف قند برای سنتز این

ترکیبات نداشته و میزان کربوهیدرات در این تیمار افزایش یافته است.

محتوی نسبی آب برگ

در رابطه با صفت محتوی نسبی آب برگ بالنگوی شهری در کاشت دیم بالاتر از آبیاری تکمیلی بود. با این حال، محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های اسمزی نیز میزان آب نسبی برگ را تغییر نداد. به نظر می‌رسد حفظ آب نسبی بافت‌های فتوسنتزی (برگ) در شرایط وسیعی از تأمین آب، بالنگوی شهری را به‌عنوان یک گیاه مقاوم به خشکی مطرح می‌کند (جدول 3). بالا بودن محتوی نسبی آب برگ در ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی می‌تواند بخاطر وجود سازوکارهای کاهش‌دهنده تلفات آب از راه روزنه‌ها و یا به‌واسطه جذب بیش‌تر آب از طریق توسعه سیستم ریشه‌ای باشد (Rigoberto et al., 2004).

تعداد کپسول در بوته

در رابطه با صفت تعداد کپسول در بوته آبیاری تکمیلی در کلیه محلول‌پاشی‌ها باعث افزایش تعداد کپسول در بوته شد که بیش‌ترین مقدار مربوط به ساکارز و کم‌ترین تعداد کپسول در بوته مربوط به شاهد دیم بود. تعداد کپسول در بوته در تیمار ساکارز آبیاری تکمیلی در بیش‌ترین مقدار یعنی 45/1 کپسول در هر بوته قرار داشت. پس از آن تیمار گلایسین‌بتائین آبیاری تکمیلی با 46 کپسول در بوته در ردیف بعدی قرار داشت. محلول‌پاشی ساکارز و گلایسین‌بتائین در شرایط دیم سطوح یکسانی از تعداد کپسول در هر بوته را نشان دادند. کم‌ترین تعداد کپسول در بوته مربوط به شاهد (آب‌مقطر) کشت دیم بود (جدول 4).

عملکرد دانه

در رابطه یا صفت عملکرد دانه نتایج نشان داد در همه تیمارهای آبیاری تکمیلی بیش‌تر از دیم بود و در محلول‌پاشی ساکارز به حداکثر میزان خود (85/44 گرم بر مترمربع) رسیده است و کم‌ترین مقدار عملکرد دانه مربوط به شاهد دیم (44 گرم بر مترمربع) بود. محلول‌پاشی ساکارز، گلایسین‌بتائین و پرولین به‌ترتیب بیش‌ترین افزایش عملکرد دانه را در هر دو سیستم کشت دیم و آبیاری تکمیلی نشان دادند. به طوری که کاربرد تنظیم‌کننده‌های اسمزی در کشت دیم عملکرد دانه را به مقدار بیش از عملکرد دانه گیاهان شاهد (بدون تیمار) در آبیاری تکمیلی افزایش داده است (جدول 4). این نتایج در خصوص کاهش عملکرد دانه در شرایط کم آبی مطابق با گزارش ریچارد و همکاران (Richards et al., 2002) است که گزارش کردند گیاه برای مقابله با کم‌آبی بخشی‌از مواد پرورده را به ریشه برای توسعه سیستم ریشه منتقل نموده و در نتیجه سهم اختصاص‌یافته به تولید دانه کاسته می‌شود. هنگامی که خشکی در هر مرحله از رشد و نمو گیاه حادث شود، عملکرد کاهش قابل ملاحظه‌ای می‌یابد و بیش‌ترین‌کاهش زمانی است که خشکی در زمان شروع گل‌دهی اتفاق می‌افتد. هم‌چنین می‌توان افزایش عملکرد در آبیاری تکمیلی را ناشی از تقویت توانایی گیاه در تحمل به خشکی آخر فصل و افزایش سرعت پر شدن دانه و در نهایت سبب افزایش، بهبود و تثبیت عملکرد دانه در واحد سطح دانست. از طرف دیگر، تولید تنظیم‌کننده‌های اسمزی برای گیاه پر هزینه بوده و بخشی از ماده خشک تولیدی به‌جای صرف در رشد مقصدهای فیزیولوژیک اصلی گیاه در مسیر ساخت این اسمولیت‌ها قرار می‌گیرد. علاوه بر آن در مراحل مختلف رشد اندام‌های گیاهی برای دریافت آسیمیلات‌ها با هم رقابت کرده و تخصیص مواد فتوسنتزی در بین اندام‌ها تحت تأثیر این رقابت قرار می‌گیرد. با توجه به این‌که در این تحقیق تنظیم‌کننده‌های اسمزی به‌صورت خارجی در اختیار گیاه قرار گرفته است، احتمال می‌رود ماده خشک تولیدی به‌طور کامل صرف پر شدن دانه شده باشد.

عملکرد بیولوژیکی

در رابطه با صفت عملکرد بیولوژیکی می‌توان گفت این صفت نشان‌دهنده ماده خشک کل تجمع‌یافته در اندام هوایی در زمان برداشت است. محلول‌پاشی ساکارز در هر دو سیستم دیم (250/52 گرم بر مترمربع) و آبیاری تکمیلی (264/95 گرم بر مترمربع) عملکرد بیولوژیکی را به‌طور چشم‌گیری افزایش داد. به‌طوری‌که اختلاف بین شرایط دیم و آبیاری تکمیلی ناچیز بود، امّا نقش محلول‌پاشی پرولین و گلایسین‌بتائین در افزایش عملکرد در آبیاری تکمیلی بیش‌تر از دیم بود (جدول 4). شاهد (آب مقطر) در هر دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی عملکرد کمی داشت، امّا کم‌ترین عملکرد بیولوژیکی مربوط به شاهد دیم (44 گرم بر مترمربع) بود (جدول 4). مشایخی و آتشی (Mashayekhi & Atashi, 2012) بیان داشتند که استفاده از تیمار ساکارز به‌صورت محلول‌پاشی سبب افزایش قند و به دنبال آن افزایش انرژی در دسترس برای گیاه می‌شود که احتمالاً دلیل افزایش عملکرد

تیمار ساکارز به همین علت بوده است. گورهام و همکاران (Gorham et al., 2000) بیان کردند که کاربرد گلایسین‌بتائین باعث افزایش وزن خشک کل بوته‌های پنبه شد.

فسفر

در رابطه با میزان فسفر برگ بیش‌ترین و کم‌ترین میزان فسفر برگ به‌ترتیب در کاربرد خارجی پرولین همراه با یک نوبت آبیاری تکمیلی (9/4 میلی‌گرم بر گرم) و کشت دیم (4/3 میلی‌گرم بر گرم) گزارش شد. میزان فسفر گزارش شده در تیمار دیم کم‌تر از آبیاری تکمیلی بود. کلیه تیمارهای محلول‌پاشی گیاهان دیم دارای فسفر برگ کم‌تری نسبت به گیاهان بدون محلول‌پاشی بودند (جدول 4). عدم تحرک فسفر در اسیدیته بالا و تثبیت آن، به‌ویژه در تنش‌های کمبود آب دلیل اصلی کاهش تجمع آن در بافت برگی در شرایط دیم می‌باشد (Devau et al., 2009). نتیجه فوق در خصوص کاهش میزان فسفر در تنش با نتیجه پیرزاد و همکاران (Pirzad et al., 2010) بر روی بابونه آلمانی همسویی داشت. با توجه به اینکه فسفر از جمله پیش‌نیازهای ساخت پرولین می‌باشد (Marschner, 2002)، در محلول‌پاشی پرولین با توجه به قرارگیری پرولین خارجی در اختیار گیاه و عدم ساخت پرولین درون‌زاد بخصوص تحت شرایط آبیاری تکمیلی افزایش میزان فسفر منطقی به نظر می‌رسد.

پتاسیم

در رابطه با میزان پتاسیم برگ مشاهده شد که کاربرد خارجی پرولین در گیاهان دیم بیش‌ترین مقدار پتاسیم (8 میلی‌گرم بر گرم) را داشته و کم‌ترین مقدار پتاسیم برگ در تیمار گلایسین‌بتائین آبیاری - تکمیلی (5/6 میلی‌گرم بر گرم) داشته است. میزان پتاسیم در تیمار دیم بیش‌تر از تیمار آبیاری تکمیلی در کلیه محلول‌های اعمال شده بود. در زمانی که رطوبت مساعد باشد ممکن است درصد پتاسیم در بافت‌های گیاه کاهش یابد و این موضوع می تواند به‌علت رقیق شدن آن باشد. به‌طور کلی نظر بر این است که در اثر تنش خشکی میزان جذب پتاسیم در گیاه افزایش می‌یابد و آن به‌دلیل تنظیم فشار اسمزی و نقش یون پتاسیم در کنترل روزنه است. در مواردی هم مشاهده شده که درصد پتاسیم در گیاهان تحت تنش کم‌تر بوده و دلیل آن می‌تواند کاهش قابلیت دسترسی این عناصر در شرایط کمبود رطوبت باشد. به این صورت که در اثر وجود آب زیادتر، یون‌های یک‌ظرفیتی مانند پتاسیم در محلول خاک به‌طور نسبی بیش‌تر از یون‌های دوظرفیتی مانند کلسیم و منیزیم افزایش می‌یابد. امّا به‌تدریج که خاک خشک می‌شود، کلوئیدهای رس با قدرت بیش‌تری پتاسیم (یون‌های یک ظرفیتی) را به سطح خود جذب کرده و مانع از جدا شدن این یون‌ها می‌شوند (Kafi et al., 2008).

نیتروژن

میزان نیتروژن موجود در بافت گیاهی تحت تأثیر شرایط آبیاری تکمیلی و دیم معنی‌دار نشد. هم‌چنین هیچ‌کدام از تیمارهای محلول-پاشی نیز بر میزان نیتروژن برگ تأثیر نداشتند (جدول 3). به نظر می-رسد به‌علت تحرک بالای نیتروژن در خاک و عدم تثبیت آن در خاک کمبود نیتروژن در هیچ یک از تیمارها مشاهده نشده است. پیرزاد و همکاران (Pirzad et al., 2010) در بابونه گزارش کردند که رژیم مختلف آبیاری تأثیری بر میزان جذب نیتروژن ندارد.

ارتفاع بوته

در رابطه با صفت ارتفاع بوته بالنگوی شهری مشاهده شد که این صفت تحت تأثیر معنی‌دار آبیاری تکمیلی نسبت به گیاهان دیم افزایش داشت. محلول‌پاشی گلایسین‌بتائین و ساکارز (36 سانتی‌متر) بیش‌ترین افزایش ارتفاع بوته نسبت به شاهد (33 سانتی‌متر) را نشان دادند (جدول 3). از اولین نشانه‌های کمبود آب کاهش فشار آماس و در نتیجه کاهش رشد و توسعه سلول به‌ویژه در ساقه و برگ‌هاست. با کاهش رشد سلول، اندازه اندام محدود می‌شود و به همین دلیل اولین اثر محسوس کم‌آبی بر روی گیاهان را می‌توان از روی اندازه کوچک‌تر برگ‌ها و ارتفاع کم‌تر گیاهان تشخیص داد. ارتفاع بوته مانند هر اندام رویشی و یا زایشی دیگر شدیداً تحت تأثیر آب قرار می‌گیرد (Erkossa et al., 2002). قلی زاده و همکاران (Gholizadeh et al., 2010) نیز کاهش طول ساقه بادرشبو را تحت تنش خشکی گزارش کردند. گلایسین‌بتائین و ساکارز به‌دلیل افزایش هدایت روزنه‌ای، افزایش فتوسنتز، تورژسانس سلولی و به دنبال آن افزایش طویل شدن سلول باعث افزایش ارتفاع می‌شود که افزایش غلظت این ماده اثرات مثبت آن را با افزایش غلظت داخلی این مواد تشدید نموده است.

وزن هزار دانه

در خصوص صفت وزن هزار دانه تنش آبی و محلول‌پاشی اثر معنی‌داری بر وزن هزار دانه بالنگو نداشت (جدول 2). وزن هزار دانه نشان‌دهنده وضعیت و طول دوره زایشی هر گیاه است و از آنجا که با آغاز گل‌دهی و مشخص شدن تعداد دانه در بوته، دانه‌ها شروع به دریافت و ذخیره مقادیری از مواد فتوسنتزی می‌نمایند، می‌بایستی بین وزن هزار دانه هنگامی که گیاه در حال تنش رطوبتی قرار می‌گیرد، با حالت‌های غیرتنش تفاوت وجود داشته باشد، امّا وزن هزار دانه از جمله فاکتورهایی است که بیشتر تحت تأثیر کنترل ژنتیکی است و از توارث‌پذیری بالایی برخوردار است و کم‌تر تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد. رحیمی و همکاران (Rahimi et al., 2008) گزارش کردند که وزن هزار دانه در گشنیز کم‌تر تحت تأثیر خشکی قرار گرفته و در شرایط متفاوت تأمین آب دارای وزن هزار دانه یکسانی بودند.

درصد موسیلاژ

صفت درصد موسیلاژ که در واقع میزان موسیلاژ در یک گرم بذر است، تحت تأثیر سطوح محلول‌پاشی قرار نگرفت و حتی تفاوت معنی‌داری بین گیاهان دیم و آبیاری‌شده از نظر درصد موسیلاژ دانه مشاهده نشد (جدول 2). بررسی‌های انجام شده حاکی از آن است که ساخت مواد مؤثره گیاهان دارویی تحت تأثیر ژنوتیپ و عوامل محیط است (Al-Ramamneh, 2009). بنابراین می‌توان عدم تفاوت در درصد موسیلاژ را به این دلیل توجیه کرد که شاید سطوح تنش شدیدتر برای تغییر درصد موسیلاژ لازم است. میانگین‌های درصد موسیلاژ دانه در دو شرایط دیم و آبیاری نشان می‌دهد که موسیلاژ دانه در بالنگو به‌طور ژنتیکی زیاد است. فراهانی و همکاران (Farahani et al., 2009) گزارش کردند که تنش خشکی می‌تواند سطوح متابولیسم گونه‌ها و ژنوتیپ‌های افزایش یا کاهش دهد یا تأثیری روی آن‌ها نداشته باشد.

درصد و عملکرد روغن

درصد روغن در گیاهان دیم بالاتر از آبیاری تکمیلی است (جدول 3). محلول‌پاشی تأثیری بر درصد روغن نداشت (جدول 2). در مورد اثر تنش خشکی بر درصد روغن گزارش‌های متفاوتی وجود دارد. درصد روغن در گیاهان مختلف تحت تأثیر سطوح مختلف شدت تنش می‌تواند افزایش یابد. از نظر عملکرد روغن، تابعی از درصد روغن و عملکرد دانه، تفاوت معنی‌داری بین آبیاری تکمیلی و دیم مشاهده نشد. کاهش عملکرد دانه (جدول 4) هم‌زمان با افزایش درصد روغن (جدول 3) باعث می‌شود که عملکرد روغن در کشت دیم و آبیاری تکمیلی تفاوت معنی‌داری نشان ندهند (جدول 3). درصد روغن یک صفت کمّی است و توسط چندین ژن کنترل می‌شود، بنابراین آسیب دیدن تعداد زیادی از ژن‌های کنترل‌کننده در اثر تنش خشکی، بعید به نظر می‌رسد. از این رو کاهش درصد روغن در اثر تنش خشکی جزئی است (Yadollahi Dehcheshmeh et al., 2014). در شرایط تنش با این که محتوی روغن افزایش می‌یابد، ممکن است به‌علت کاهش شدید عملکرد دانه ناشی از تنش کم‌آبی، عملکرد روغن با افت مواجه شود (Shubhra et al., 2004).

نتیجه‌گیری

بررسی نتایج به‌دست آمده از این تحقیق نشان می‌دهد که باتوجه به این‌که در شرایط کمبود آب اسمولیت‌هایی نظیر پرولین، گلایسین-بتائین و ساکارز در گیاه ساخته می‌شوند تا بتوانند اثرات زیان‌بار تنش را کاهش دهند. لذا استعمال خارجی این مواد باعث تعدیل اسمولیت-های ساخته شده در گیاه می‌گردد و بخش بیش‌تر مواد فتوسنتزی صرف پر شدن دانه در گیاه می‌شود که افزایش عملکرد نیز ناشی از این می‌باشد. علاوه بر آن باتوجه به قرارگیری ایران در مناطق خشک و نیمه خشک و ضرورت توجه به کمبود آب، آبیاری تکمیلی به‌عنوان راهکاری برای جلوگیری از افت عملکرد و کاهش هدررفت آب در این آزمایش مورد بررسی قرار گرفت و نتایج به‌دست آمده نشان داد که یک نوبت آبیاری تکمیلی عملکرد را در همه تیمارها افزایش داد. این امر می‌تواند ناشی از تخلیه کامل رطوبت خاک در آخر فصل رشد باشد و آبیاری تکمیلی با کارآیی بالاتری بخشی از عملکرد را که در شرایط دیم کاهش یافته است، جبران می‌کند. محلول‌پاشی ساکارز، گلایسین بتائین و پرولین به‌ترتیب بیش‌ترین افزایش را در تولید عملکرد (دانه و بیولوژیکی) نشان دادند، درحالی‌که کاربرد این تنظیم-کننده‌های اسمزی عملکرد روغن را به یک اندازه نسبت به شاهد افزایش دادند. بنابراین محلول‌پاشی اسمولیت‌ها و انجام آبیاری تکمیلی راهکاری برای افزایش عملکرد و اجزای عملکرد بالنگوی شهری توصیه می‌شود.

منابع:

Al-Ramamneh, E.A.D.M. 2009. Plant growth strategies of *Thymus vulgaris* L. in response to population density. Industrial Crops and Products 30: 389-394.

Amanzadeh, Y., Khosravi Dehaghi, N., Gohari, A.R., Monsef-Esfehani, H.R., and Sadat Ebrahimi, G.R. 2011. Antioxidant activity of essential oil of *Lallemantia iberica* in flowering stage and post-flowering stage. Journal of Research in Biological Sciences 6(3): 114-117. (In Persian with English Summary)

Arazmjo, A., Heidari, M., and Ghorbani, A. 2010. The effect of water stress and three sources of fertilizers on flower yield, physiological parameters and nutrient uptake in chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 4: 482-494. (In Persian with English Summary)

Ashraf, M., and Foolad, M.R. 2007. Improving plant abiotic-stress resistance by exogenous application of osmoprotectants glycinebetaine and proline. Environmental and Experimental Botany 59: 206-216.

Blum, A. 2011. Plant breeding for water-limited environments. Springer, New York, USA 255p.

Chapman, H.D., and Pratt, P.F. 1961. Methods of analysis for soils plants and waters. University of California, Division of Agricultural Science 309 p.

Devau, N., Cadre, Le, E., Hinsinger, P., Jaillard, B., and Gérard, F. 2009. Soil pH controls the environmental availability of phosphorus: Experimental and mechanistic modeling approaches. Applied Geochemistry 24(11): 2163-2174.

Erkossa, T., Stahr, K., and Tabor, G. 2002. Integration of organic and inorganic fertilizers.effect on vegetable productivity. Ethiopian Agricultural research Organization, Debre Zeit Agricultural Research Centre Ethiopia 82: 247-256.

Farahani, H.A., Valadabadi, S.A., Daneshian, J., and Khalvati, M.A. 2009. Evaluation changing of essential oil of balm *Mellisa officinalis* L. under water deficit stress condition. Journal of Medicinal Plants Research 3: 329-333.

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi N., Fujita, D., and Basra, S.M.A. 2009. Plant drought stress effevts mechanisms and management. Agronomy for Sustainable Development 29: 185-212.

Farzi, M., Alizadeh, K., and Arshad, M. 2016. Study on dragons head (*Lallemantia iberica* L.) landraces under supplementary irrigation and rainfed conditions. Journal of Crop Ecophysiology 10: 401-412. (In Persian with English Summary)

Gamal EL-Din, K.M., and Abd El-Wahed, M.S.A. 2005. Effect of some amino acids on growth and essential oil content of chamomile plant. International Journal of Agriculture and Biology 7(3): 376-380.

Ghasemian, V., Shafagh Kalvanagh, J., and Pirzad, A. 2017. Effect of fertilizer treatments and irrigation regimes on *Lallemantia iberica* seed mucilage yield and compounds. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 27(3): 17-31. (In Persian with English Summary)

Gholizadeh, A., Amin, M.S.M., Aunar, A.R., Esfahani, M., and Saberioon, M.M. 2010. The study on the effect of different levels of zeolite and water stress on growth, development and essential oil content of Moldavian balm *Dracocephlum moldavica*. American Journal of Applied Sciences 7(1): 33-37.

Ghorbani, A. 2004. Turkmen desert medicinal herbs. Publication of the Center for Traditional Medicine and Medical Regulation of Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran. 100p. (In Persian)

Gorham, J., Jokinen, K., Malik, M.N.A., and Khan, I.A. 2000. Glycine betaine treatment improves cotton yields in field trials in Pakistan. Proceedings of the World Cotton Research Conference II, Athens, Greece p. 624-627.

Grieve, C.M., and Grattan, S.R. 1983. Rapid assay for determination of water soluble quaternary ammonium compounds. Plant and Soil 70: 303-307.

Habibi, D., Ardakani, M.R., Mahmoudi, A., and Asgharzadeh, A. 2010. Effects of super absorbent polymer and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield and oxidative damage of maize under drought stress. International Conference on Chemistry and Chemical Engineering 253-257 P.

Iririgoyen, J.J., Emerich, D.W., and Sanches, D.M. 1992. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugares in modulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. Physiologia Plantarum 84: 55-60.

Jalilian, J., and Heydarzadeh, S. 2016. Effect of cover crops, organic and chemical fertilizer on the quantitative and qualitative characteristics of Safflower *Carthamus tinctorius*. Journal of Agricultural Science 25(4): 71-85. (In Persian with English Summary)

Kadkhodaee, A., and Ehsanzadeh, P. 2011. Grain yield, leaf chlorophyll, proline and soluble carbohydrates content of linseed (*Linum usitatisimum* L.) under different irrigation regimes. Iranian Journal of Field Crop Science 42: 125-131. (In Persian with English Summary)

Kafi, M., Borzoi, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masumi, E., and Nabati, J.V. 2008. Physiology of Environmental Stresses in Plants. Jihad Publishing of Mashhad Press, Iran 502p. (In Persian)

Kalyanasundaram, N.K., Patel, P.B., and Dalal, K.C. 1982. Nitrogen need of *Plantago ovata* Forsk. In relation to the available nitrogen in soil. Indian Journal Agricultture Science 52(4): 240-242

Khalil, S.E., and El-Noemani, A.A. 2012. Effect of irrigation intervals and exogenous proline application in improving tolerance of garden cress plant *Lepidium sativum* L. to water stress. Journal of Applied Sciences Research 8(1): 157-167.

Koc, E., İslek, C., and Üstun, A.S. 2010. Effect of cold on protein, proline, phenolic compounds and chlorophyll content of two pepper (*Capsicum annuum* L.) varieties. Gazi University Journal of Science 23: 1-6.

Koocheki, A., Bakhshaei, S., Tabarraei, A. and Jafari, L. 2014. Effect of plantdensity and planting pattern on quantitative and qualitative characteristics of Balangu (*Lallenamntia royleana* Benth.). Journal of Agroecology 6(2): 229-237. (In Persian with English Summary)

Korkmaz, A., Sirikci, R., Kocacınar, F., Deger, O., and Demirkırıan, A.R. 2012. Alleviation of salt- induced adverse effects in pepper seedlings by seed application of glycinebetaine. Scientia Horticulturae 148: 197-205.

Makela, P., Peltonen-Sainio, P., Jokinen, K., Pehu, E., Setala, H., Hinkkanen, H., and Somersalo, S. 1996. Uptake and translocation of foliar applied glycinebetaine in crop plants. Plant Science 121: 221-230.

Marschner, H. 2002. Mineral Nutrition of Higher Plant. Elsevier Sci Ltd. Academic Press 899p.

Mashayekhi, K., and Atashi, S. 2012. Effect of spray and saccharose on some biochemical characteristics of strawberry plants of camarosa. Journal of Plant Production Research 19(4): 171-175. (In Persian with English Summary)

Martignone, R.A., and Nakamaya, Y.F. 1983. Foliar fertilization urea and sucrose on soybean. Phyton 43: 167-178.

Nori-Shargh, D., Kiaei, S.M., Deyhimi, F., Mozaffarian, V., and Yahyaei, H. 2009. The volatile constituents analysis of *Lallemantia iberica* (M.B). Fischer & Meyer from Iran. Natural Product Research 23: 546-548.

Norouzi Baroogh, A. 2009. Effects of proline and glycine betaine spraying on sunflower reaction to drought stress. MSc Thesis. Isfahan University of Technology. 120 pp.

Oweis, T., and Hachum, A. 2004. Water harvesting and supplemental irrigation for improved water productivity for dry farming systems in West Asia and North Africa. Agricultural Water Management 80(1-3): 57-73.

Paquin, R., and Lechasseur, P. 1997. Observationssur une method de dosage de la proline libra dans lrs extrain de plants. Canadian Journal of Botany 57: 1851-1854.

Pei, F., Li, X., Liu, X., and Lao, C. 2013. Assessing the impacts of droughts on net primary productivity in China. Journal of Environmental Management 114: 362-371.

Pirzad, A., Shakiba. M.R., Zehtab salamsi, S., and Mohamadi, A. 2010. Effects of water stress on some nutrients uptake in *Matricaria chamomilla* L. Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi) 104: 1-7. (In Persian with English Summary)

Rahimi, A., Mashayekhi, K., Hemati, K., and Dardipor, A. 2008. Effect of salicylic acid and food elements on seed yield and yield components of coriander. Journal of Plant Production Research 16(4): 149-156. (In Persian with English Summary)

Richards, R., Rebetzke, G.J., Condon, A.G., and van Herwaarden, A.F. 2002. Breeding opportunities for increasing the efficiency of water use and crop yield in temperate cereals. Crop Science 42: 111-121.

Rigoberto, R.S., Josue, K.S., Jorge Alberto, A.G., Carlos, T.L., Joaquýn, O.C., and Kelly, J.D. 2004. Biomass distribution, maturity acceleration and yield. Field Crops Research 85(2-3): 203-211.

Ritchie, S.W., and Nguyen, H.T. 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. Crop Science 30: 105-111.

Sane, F., and Pirzad, A. 2018. Optimal plant spacing of Lallemantia iberica under rainfed and supplementary irrigation. Iranian Journal of Field Crop Science In Press. (In Persian with English Summary)

Shubhra, K., Dayal, J., Goswami, C.L., and Munjal, R. 2004. Effects of water-deficit on oil of *Calendula* aerial parts. Biologia Plantarum 48(3): 445-448.

Soltani-Gard, F., Omidi, M.K., Habibi, H., Lebaschi, H., Hosseini, M., and Zarezade, H. 2010. The effect of different glycin betaine on morphological traits and yield of *Matricaria chamomila* L. under drought stress in Yazd area.

Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 27(2): 279-289. (In Persian with English Summary)

Strasil, Z., and Kas, M. 2005. The effect of nitrogen fertilization, sowing rates and weather conditions on yield components of *Lallemantia iberica* Fisch. et Mey. Scientia Agriculturae Bohemica 36(1): 15-20.

Tewari, T.N., and Singh, B.B. 1991. Stress studies in lentil (*Lens esculenta* Moench). II. Sodicity-induced changes in chlorophyll, nitrate, nitrite reductase, nucleic acids, proline, yield, and yield components in lentil. Plant and Soil 135: 225-250.

Yadollahi Dehcheshmeh, P., Bagheri, A.A., Amiri, A., and Esmailzadeh, S. 2014. Effects of drought and foliar application on yield and photosynthetic pigments sunflower. Journal of Crop Physiology 6(21): 73-83. (In Persian with English Summary)

Zlatanov, M., Antova, G., Angelova-Romova, M., Momchilova, S., Taneva, S., and Nikolova-Damyanova, B. 2012. Lipid structure of *Lallemantia* seed oil: A potential source of omega-3 and omega-6 fatty acids for nutritional supplements. Journal of the American Oil Chemists Society 89(8): 1393-1401.

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.3, Fall 2019, p. 1105-1121

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 11، شماره 3، پاییز 1398، ص 1121-1105

Ecophysiological Response of *Lallemantia iberica* L. to Exogenous Application of Osmotic Adjustments in Rainfed Production

D. Sheykhi Sanandaji[1] and A. Pirzad[2*]
Submitted: 14-05-2018
Accepted: 12-08-2018

Sheykhi Sanandaji, D., and Pirzad, A. 2019. Ecophysiological response of *Lallemantia iberica* L. to exogenous application of osmotic adjustments in rainfed production. Journal of Agroecology. 11(3): 1105-1121.

Introduction

Lallemantia as an annual plant, with scientific name Lallemantia iberica L. belonged to the Lamiaceae family. The seeds contain oil and mucilage, which are used in the textile and pharmaceutical industries. Lallemantia grows well in arid regions; therefore it can be used as an alternative of the common crops in these areas. The reason for the adaptation to drought is due to the existence of drought-tolerant genes. Crop yield and growth are affected by environmental factors such as water deficit stress due to abnormal processes of physiological processes under stress. Due to the fact that plants synthesize different osmotic compounds under stress conditions, they may respond to their exogenous application against stress conditions. The aim of this study was to evaluate the response of the yield and physiological characteristics of *Lallemantia* to the application of osmolytes under rainfed and one supplemental irrigation procedure.

Materials and Methods

This split-plot experiment was conducted at Research Farm of Urmia University (Latitude 45° 10' East, latitude 37° 44' North and altitude 1338 m above sea level) based on a randomized complete block design with three replications during the growing season of 2016-2017. Non-irrigation (rainfed) and one-time irrigation as the main plot, and the foliar application of Osmolytes (proline, glycine betaine, sucrose and distilled water as control) were considered as a sub-plot. The foliar application was performed twice at sunset time. Sampling was done for physiological traits at 80% flowering, and yield was measured at the end of the growing season. The measured traits included leaf Relative Water Content (RWC), chlorophyll index (SPAD), proline, total soluble carbohydrate, glycine betaine, nutrients, plant height, number of capsules per plant, seed number per capsule, 1000-seed weight, biological yield, oil percentage and yield, and mucilage percentage.

Results and Discussion

The results of analysis of variance showed that the irrigation effect on leaf relative water content, plant height, and oil percentage, and the effect of foliar application of osmolytes on the oil yield were significant at 1% probability level, but 1000-seed weight, seed mucilage percentage, and leaf nitrogen percentage was not affected by irrigation and osmolytes. The interaction between irrigation and osmolytes was significant on the chlorophyll, carotenoid, proline, glycine betaine, total soluble carbohydrates, number of capsules per plant, number of seeds per capsule at 1% probability level, and significant effect on the grain yield, biological yield, phosphorus and potassium at 5% probability level. In both rainfed and supplemental irrigation, the use of proline showed higher chlorophyll index. Proline in both rainfed and supplemental irrigation systems reduced the leaf proline to a minimum concentration. The use of glycine betaine reduced the amount of glycine betaine and total soluble carbohydrates in rainfed and irrigated plants. The highest grain yield (79.56 $g.m^{-2}$ for rainfed and 85.94 $g.m^{-2}$ for supplemental irrigation) and biological yield (250.25 $g.m^{-2}$ for rainfed and 492.65 $g.m^{-2}$ for supplemental irrigation) belonged to sucrose spraying. Maximum plant height (36 cm) was related to glycine betaine foliar spraying as well as the sucrose application of irrigated plants, while the shortest plant (33 cm) belonged to rainfed plants. Seed weight, as one of the important yield-related factors that currently represents the length and condition of the reproductive period. Though, foliar spray of proline and glycine betaine increased biological yield and grain yield in comparison with control treatment. Leaf potassium decreased in irrigated plants by foliar application of osmolytes, but this is was non-significant in rainfed cultivation. In spite of a little variation of leaf

1 and 2- MSc Student and Professor (Crop Physiology), Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran, respectively.
(*-Corresponding Author Email: a.pirzad@urmia.ac.ir)
Doi: 10.22067/jag.v11i3.72715

carotenoid in rainfed plants in response to osmolytes, it decreased significantly in supplemental irrigation by proline and glycyline betaine.

Conclusion

According to the results, exogenous application of osmolytes including proline, glycine betaine and sucrose, and or one-time supplemental irrigation, compensated the drought-induced yield loss due to prevent complete discharge of soil moisture. Therefore, the application of foliar spraying and supplemental irrigation is recommended as a viable and cost-effective broad-based solution to increase the yield and yield components of *Lallemantia iberica*.

Keywords: Glycine betaine, Mucilage, Oil, Proline, Supplemental irrigation